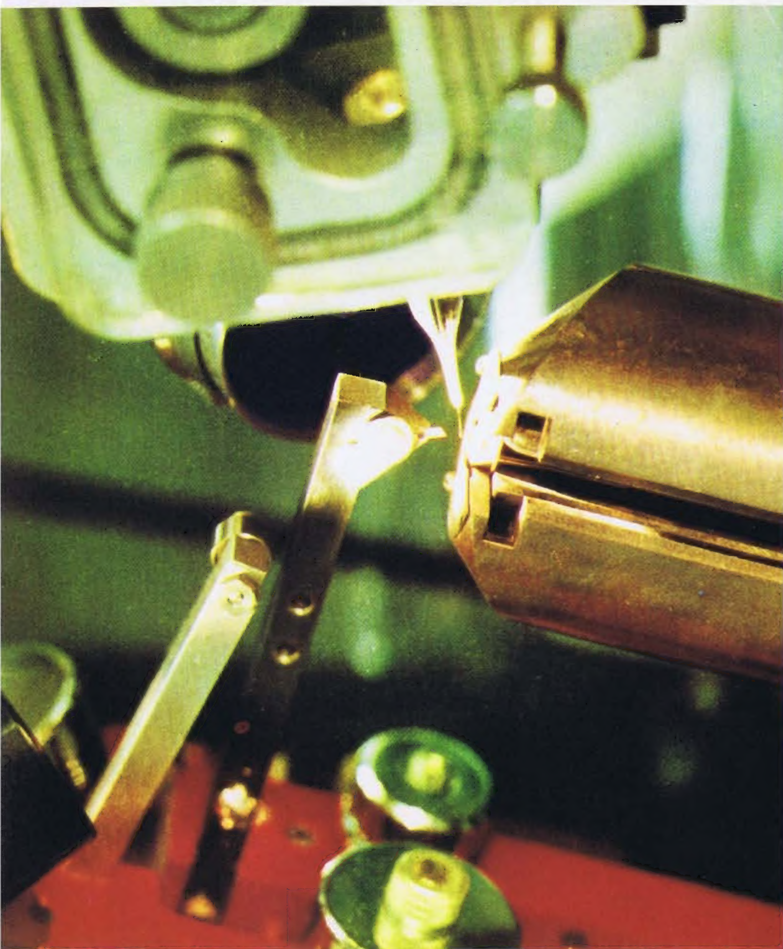
PHILIPS

④

elektronenstraalbuizen



WIJ EN DE ELEKTRONICA

Het maken van elektronenstraalbuizen is een zeer minutieus werk, waarbij gebruik wordt gemaakt van vernuftig ontworpen apparatuur. ←

ELEKTRONENSTRAALBUIZEN

In de onderwerpen die reeds zijn behandeld, is duidelijk naar voren gekomen, dat elektrische trillingen, d.w.z. snel veranderende elektrische stromen en spanningen, een belangrijke rol spelen in de elektronentechniek. Het is dan ook voor de bestudering van deze trillingen van groot belang om zichtbaar te maken hoe deze stromen of spanningen in de loop van de tijd veranderen, bv. door middel van een grafische voorstelling met in horizontale richting de tijd en in verticale richting de spanning of stroomsterkte (zie figuur 1 en ook in deel 1 de figuur op bladzijde 11, in deel 2 op bladzijde 6 en in deel 3 op bladzijde 9).

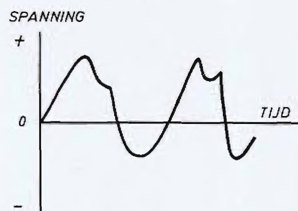


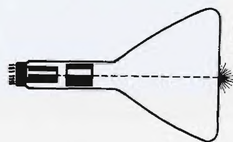
Fig. 1. Grafiek van een variërende spanning

Deze veranderingen zijn bijna steeds zo snel, dat dit heel moeilijk met mechanische middelen te doen is. Hier moet de elektronentechniek zich zelf te hulp komen.

De zg. elektronenstraalbuis maakt het ons onder meer mogelijk om een dergelijke grafiek direct te verkrijgen, zonder tijdverlies en zonder moeizame metingen. Deze buis, vroeger ook wel katodestraalbuis genoemd, stelt ons dus in staat om te zien wat er zich in een elektrische keten afspeelt. De huidige elektronentechniek is ondenkbaar zonder elektronenstraalbuis. Opgemerkt zij nog dat de beeldbuis in een televisie-ontvanger een speciale uitvoering daarvan is. Deze zal later worden besproken.

De elektronenstraalbuis

In figuur 2 is de elektronenstraalbuis schematisch afgebeeld. Deze bestaat uit een glazen ballon van een speciale vorm, die luchtledig is gepompt. De vorm doet enigszins denken aan een trechter. In de nauwe hals is een elektrodenstelsel aangebracht, waarvan de werking te vergelijken is met die van een triode. De anode is echter doorboord, zodat de elektronen die van de katode komen, er doorheen kunnen schieten. In het wijde gedeelte loopt dus een smalle bundel van snelle elektronen, de zg. elektronenstraal. De ballon is afgesloten met een vlakke, glazen plaat, aan de binnenkant bedekt met een dun-


Fig. 2. Schema van een elektronenstraalbuis

ne laag fluorescerend materiaal. Daar, waar dit zg. scherm door de elektronenstraal getroffen wordt, ontstaat een lichtvlek. Meestal heeft deze een groene kleur. Door gebruik te maken van andere fluorescerende materialen kunnen ook blauwachtig oplichtende schermen worden gefabriceerd, of zoals bij televisiebuizen met een witte kleur. Dit licht ontstaat door zg. luminescentie, iets wat reeds in deel 2 op bladzijde 12 is besproken.
Men is in staat de elektronenstraal zijdelings in alle richtingen af te buigen en daardoor de lichtstip op elk punt van het scherm te brengen. Met deze stip kan men dus als het ware gaan tekenen.
Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zg. „nawerking" van het oog. Stel dat een punt gedurende heel korte tijd, bv. één duizendste seconde oplicht. Door deze nawerking zal men echter gedurende ongeveer één twintigste seconde daarna (0,050 seconde) de indruk hebben dat dit punt nog licht uitzendt. In werkelijkheid is het echter al lang weer donker. Licht het punt telkens, na bv. één vijf en twintigste seconde (0,040 seconde) — dus binnen de nawerkingsduur van 0,050 seconde — weer heel even op, dan ontstaat de indruk dat ononderbroken licht uitgezonden wordt.
Op dit verschijnsel berust de filmprojectie en ook de televisie. Het geboeide publiek in de zaal merkt niet, dat telkens na één vijf en twintigste seconde (0,040 seconde) een filmbeeldje op het filmdoek verschijnt, dat steeds gevolgd wordt door een korte periode van volslagen duisternis, lang genoeg om in de projector een nieuw plaatje voor de lens te brengen!

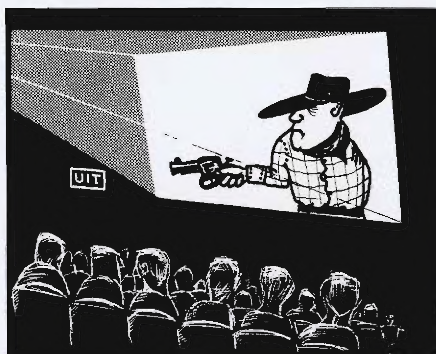


Fig. 3. In de bioscoop

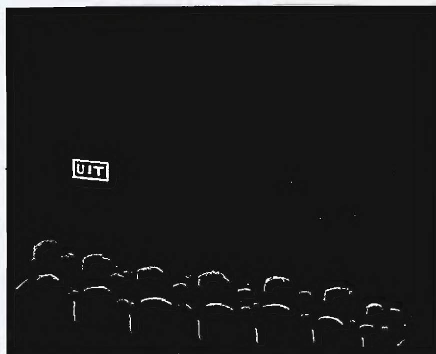


Fig. 4. Even later tijdens het verwisselen van het filmbeeld

Een bewegende lichtstip zal men dus niet alleen zien op de plaats, waar deze op dat ogenblik werkelijk is, doch tevens op alle plaatsen waar deze geweest is in de 0,050 seconde vóór dat ogenblik. Men ziet dus niet een punt, maar - als een lichtspoor - een bewegende lichtende lijn, die des te langer is naarmate het lichtpunt sneller beweegt. Dit „lichtspoor" is bij een televisiebuis zó lang, dat het gehele beeldvenster er mee gevuld wordt. De snelheid waarmede dat enkele lichtpunt beweegt, kan men zich moeilijk voorstellen!

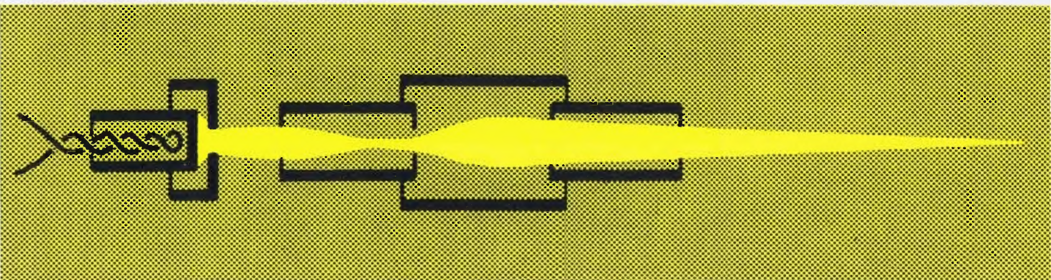
Het elektronenkanon

Van de buis wordt het gedeelte dat de elektronenstraal levert, min of meer toepasselijk het elektronenkanon genoemd. Fig. 5 geeft hiervan een schematische doorsnede. Evenals bij gewone elektronenbuizen worden de losse elektronen verkregen door thermische emissie uit een katode, die door een gloeidraad sterk wordt verhit (zie deel 2 van deze serie). Vlak voor de katode bevindt zich het deksel van een cilindrisch metalen busje dat de katode omgeeft; hierin zit een klein gaatje. De functie van dit busje, de zg. wehneltcilinder, komt later ter sprake. Hierachter bevinden zich nog drie cilindrische elektroden; twee versnel-elektroden en daar tussenin de focusseer-elektrode. Deze drie elektroden vormen gezamenlijk de anode van het elektronenkanon en hebben tot taak om:

a. de elektronen een voldoende grote snelheid te geven, dus te versnellen.
b. de elektronenbanen te bundelen, dus te focusseren.

De drie elektroden hebben hoge positieve elektrische spanningen ten opzichte van de katode. Daardoor bestaat tussen

Fig. 5. Het elektronenkanon



de katode en deze samengestelde anode een elektrisch veld, dat de elektronen versnelt en door de opening van de wehneltcilinder heen zuigt. De anode zelf wordt echter niet getroffen; de elektronen vliegen er met grote snelheid doorheen. Daar achter de anode géén elektrisch veld aanwezig is, is er voor deze deeltjes geen reden om terug te keren: ze bewegen zich, als projectielen na het verlaten van het kanon, met constante snelheid in rechte banen verder.
De verschillende elektroden waaruit de anode bestaat, hebben niet alle dezelfde positieve spanning, zodat ook tussen deze elektroden onderling een elektrisch veld heerst; dit beïnvloedt de richting waarin de elektroden bewegen. Daardoor snijden de banen van de verschillende elektronen elkaar nagenoeg in één punt, het zg. focus (zie figuur 6). Bij een juiste keuze van de spanningen zal dit punt op het scherm van de buis komen te liggen. Men krijgt daarop dus een scherp lichtpunt te zien. De werking van dit elektrische veld op de bundel elektronenbanen kan men vergelijken met die van een lenzenstelsel op een bundel lichtstralen. Men spreekt daarom ook wel van een elektronenlens. Dergelijke elektronenlenzen worden bv. toegepast in de elektronenmicroscoop. Volledigheidshalve zij vermeld, dat ook met het magnetische veld van een elektrische stroom in een spoel, focussering van elektronenbanen kan worden verkregen.

Het aantal van de elektronen die te zamen de elektronenstraal vormen, kan worden beperkt door de wehneltcilinder een kleine negatieve spanning t.o.v. de katode te geven. Hoe groter deze spanning, hoe kleiner het aantal elektronen dat deze cilinder passeert. Men kan zodoende de intensiteit van

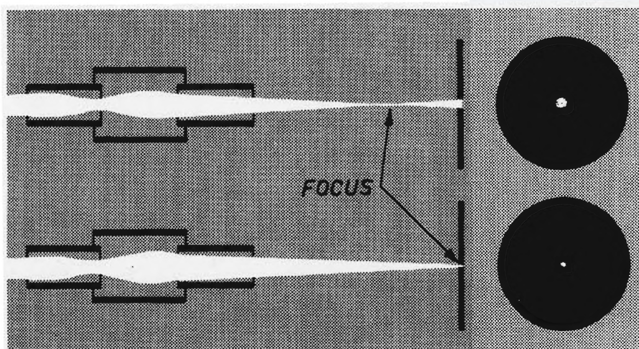


Fig. 6. Focussering

de elektronenstraal en dus ook de helderheid van de lichtstip op het scherm regelen. De wehneltcilinder in een elektronenstraalbuis heeft dus dezelfde invloed op de elektronenstroom door de buis als het rooster in een triode. De taak van het elektronenkanon kan nu als volgt worden samengevat: op het midden van het scherm een zo scherp mogelijk lichtpunt te verkrijgen, waarvan de lichtsterkte kan worden geregeld.
Deze lichtstip is de punt van het potlood, waarmede op het scherm getekend zal worden. Hoe wordt nu de hand van de tekenaar bewogen? En wat moet er getekend worden?

Het afbuigsysteem

Het afbuigen van de elektronenstraal kan volgens twee principes plaats vinden: met elektrische of met magnetische velden.
Bij de eerste methode zijn vlak achter het elektronenkanon twee vlakke metalen plaatjes aangebracht: het één onder de elektronenstraal, het ander er boven. Door aansluiting op de klemmen van een spanningsbron wordt de bovenste plaat bv. positief geladen, de onderste negatief. Tussen de platen ontstaat dan een elektrisch veld, d.w.z. dat op elk elektrisch ladinkje ter plaatse een kracht uitgeoefend wordt. Men kan dit ook verklaren met de regel, dat ongelijknamige ladingen elkaar aantrekken, gelijknamige elkaar afstoten. Zolang de negatief geladen elektronen zich tussen de platen bevinden, zal

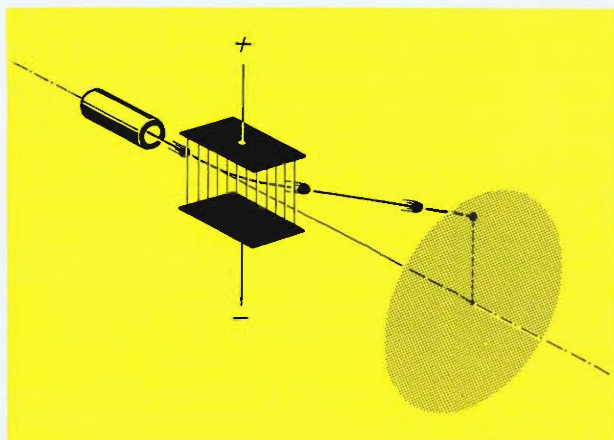


Fig. 7. Verticale afbuiging van een elektronenstraal door een elektrisch veld

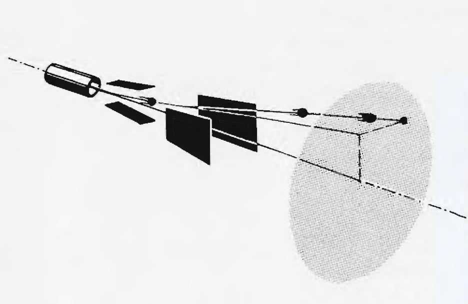


Fig. 8. Elektrische afbuiging in twee richtingen

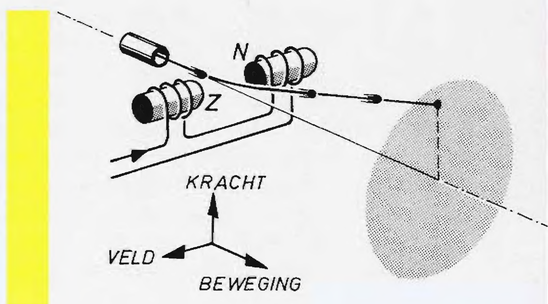


Fig. 9. Magnetische afbuiging

er dus een kracht naar boven op werken. De elektronenstraal wordt in dit gebied gekromd en treft het scherm in een hoger gelegen punt (fig. 7). Hoe groter het spanningsverschil tussen de platen, hoe hoger het lichtpunt komt. Men kan de elektronenstraalbuis daarom als voltmeter gebruiken. Worden de aansluitingen verwisseld, dan gaat het punt naar beneden.

Is op de platen een wisselspanning aangelegd, dan trilt het lichtvlekje op en neer, in hetzelfde tempo als de frequentie van deze elektrische trilling. Bij snelle trillingen beweegt het lichtpunt zo vlug, dat men een stilstaande verticale lichtstreep ziet. De lengte daarvan is het dubbele van de amplitudo van de trilling van het punt en deze is een maat voor de amplitudo van de elektrische trilling. Later zal verklaard worden hoe een sprekender beeld van de trilling kan worden verkregen.

Doordat de elektronen in de buis heel snel lopen en gemakkelijk af te buigen zijn, kan de lichtstip elke variatie van de spanning op de afbuigplaten onmiddellijk volgen. Vooral doordat de elektronenstraalbuis een traagheidsloos instrument is, wordt het zeer gewaardeerd.

Brengt men vervolgens nog twee platen aan, nu links en rechts van de elektronenstraal, en verbindt men deze met de klemmen van een andere spanningsbron, dan zal de lichtstip ook naar links of naar rechts bewogen kunnen worden (fig. 8). Elk punt van het scherm is nu bereikbaar. Een heel vlak ligt voor de tekenaar gereed.

Bij de andere methode ter afbuiging van elektronenstralen wordt gebruik gemaakt van magnetische velden. Men plaatst aan weerskanten van de buis, vlak achter het elektronenkanon een tweetal draadwindingen of spoelen waar een elektrische stroom door heen gaat; er ontstaat daartussen een magnetisch veld (fig. 9). Bij hun beweging door dit veld ondervin-



Fig. 10. Spoelensysteem van een beeldbuis

den de elektronen een kracht die loodrecht staat zowel op de veldrichting als op hun bewegingsrichting. In dit geval werkt er een kracht omhoog. Ook hier zal de afstand waarover de lichtvlek op het scherm omhoog verplaatst is, afhangen van de sterkte van het magnetische veld en dus van de stroomsterkte door de spoel. Wordt de stroomrichting omgekeerd, dan komt de lichtvlek onder op het scherm. Ook hier zal een wisselstroom een op-en-neer gaand lichtvlekje geven en bij snelle wisselingen ontstaat door de nawerking van het oog een stilstaande verticale lichtstreep.
Men kan gemakkelijk inzien dat met behulp van een tweede stel magneten een verplaatsing in alle richtingen mogelijk is. Deze manier van afbuigen wordt alleen toegepast bij buizen met een groot schermoppervlak, zoals o.a. bij beeldbuizen in televisie-ontvangers. De spoelen daarvan zijn verenigd in een spoelsysteem (fig. 10), dat over de hals van de buis geschoven wordt. Elektrische afbuiging zou hier te grote spanningen op de platen nodig maken. Voor nauwkeurige meetdoeleinden zijn echter elektronenstraalbuizen met elektrische afbuiging beter geschikt.

De elektronenstraaloscilloscoop

Een elektronenstraaloscilloscoop is een instrument voor het onderzoeken van snelle elektrische trillingen. Behalve een

elektronenstraalbuis en het voedingsapparaat bevat het nog alle hulpmiddelen voor het praktisch gebruik daarvan. In fig. 11 is zo'n oscilloscoop afgebeeld.
Voor het onderzoek van zwakke elektrische trillingen zal men deze moeten kunnen versterken. Voor elk der twee platenstelsels bevat de oscilloscoop daarom een versterker: de horizontale versterker voor de afbuiging in horizontale of X-richting, de verticale voor de verticale of Y-richting. Hiermede kan men nu bv. twee elektrische trillingen met elkaar vergelijken. Men sluit ze daartoe aan op de ingangen van de versterkers. Men krijgt door de heen-en-weergaande beweging van de ene trilling, gecombineerd mét de op-en-neergaande beweging van de andere, een samengestelde figuur. Enkele mogelijkheden zijn in afb. 12 weergegeven; zij worden figuren van Lissajous genoemd. Bestuderen we de eerste eens wat nader; daaruit kunnen enkele conclusies worden getrokken. Allereerst, dat beide trillingen op hetzelfde moment in het punt 0 begonnen zijn en daarin ook telkens weer tegelijkertijd aankomen. Technisch gesproken: de trillingen zijn in faze. Verder blijkt dat de horizontale trilling een twee maal zo grote frequentie heeft als de verticale. Doorloopt men nl. bv. vanuit 0 de gehele figuur, dan wordt tegen twee volledige heen-en-weergangen slechts één volledige op- en neergang gemaakt.
De andere figuren geven het resultaat van de combinatie van twee trillingen, waarvan de verhouding der frequenties is als 3 : 1, 3 : 2 resp. 5 : 1. Gebruikt men voor een van de richtingen een trilling met bekende frequentie, bv. die van het elektrische wisselstroomnet (50 Hz), dan is de andere frequentie



Fig. 11. Een oscilloscoop

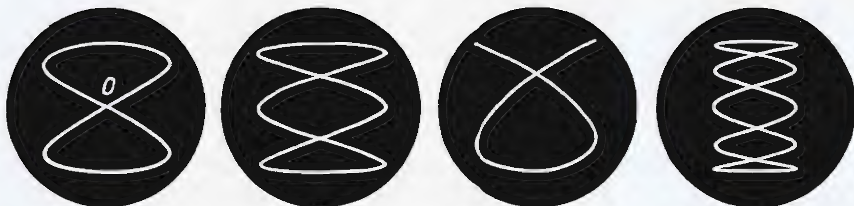


Fig. 12. Figuren van Lissajous

gemakkelijk te bepalen (frequentiemeting).
Hoe kan men nu van één trilling een volledig beeld krijgen, d.w.z. een figuur of grafische voorstelling, waarin naast elkaar de waarden getekend zijn, die de wisselspanning op opeenvolgende ogenblikken na elkaar heeft? In figuur 13 is af te lezen, dat op het tijdstip 0 de spanning 220 V was, op tijdstip t_1 200 V en op t_2 —100 V, enz. De oplossing van dit probleem kan met het volgende toegelicht worden. Bij het schrijven tekent men na elkaar de verschillende letters. Deze komen naast elkaar te staan, doordat de hand behalve de op- en neergaande beweging, ook nog een gelijkmatige beweging naar rechts volvoert. Als men met een potlood in de hand een verticale trilling op het papier beschrijft, ontstaat een oninteressante verticale lijn, die telkens opnieuw doorlopen wordt. Eerst als men het papier langzaam en gelijkmatig naar links beweegt — of de hand naar rechts — ontstaat een goede grafische voorstelling. Deze gelijkmatige horizontale beweging wordt de tijdbasis genoemd. Aan de rand van het papier gekomen, beweegt men de hand betrekkelijk snel naar rechts en begint weer opnieuw (op dezelfde regel). Of men dan dwars door de reeds verkregen figuur tekent hangt er van af. Met enig overleg is voor het teruggaan een zodanig moment te kiezen, dat de vorige tekening opnieuw doorlopen wordt. Dit regelen van het juiste moment heet het synchroniseren van de horizontale beweging met de verticale. Als bv. afgesproken wordt, dat men alleen dan terug gaat, als de trilling in zijn bovenste stand verkeert, zal steeds opnieuw de vroegere lijn doorlopen worden (hierbij is aangenomen, dat de trillingstijd constant is). Bij de oscilloscoop is het moment van

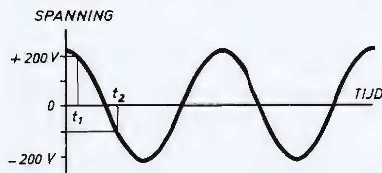


Fig. 13. Grafiek van een wisselspanning

terugspringen van de lichtstip, als het rechts op het scherm gekomen is, met elektronische middelen gemakkelijk te regelen. Wij gaan daar echter niet op in.
Interessanter is hoe de horizontale beweging van de lichtstip verkregen wordt: langzaam en regelmatig naar rechts, en snel weer terug naar links. Het is duidelijk, dat op de platen voor de horizontale afbuiging een elektrische spanning moet staan, die langzaam en gelijkmatig toeneemt en, na het bereiken van een bepaalde waarde, weer op de beginwaarde terugspringt. Figuur 14 geeft daarvan een grafische voorstelling. Hoe men aan de naam „zaagtandspanning" gekomen is, zal daaruit wel zonder meer duidelijk zijn. Ook dat de elektronische schakeling die zo'n spanning opwekt „zaagtandspanningsgenerator" heet.

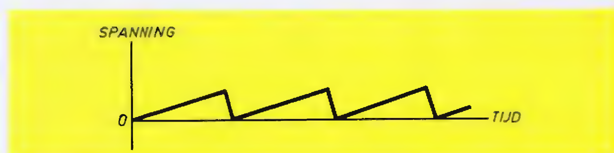


Fig. 14. Een zaagtandspanning

Hoe zo'n schakeling functioneert, kan het best uitgelegd worden met een geheel ander voorbeeld, dat echter op precies dezelfde wijze werkt (fig. 15). De bijna geheel dichtgedraaide waterkraan K biedt aan het water een grote weerstand. Er lekt slechts een klein waterstroompje door. Het niveau van het water in de bak zal langzaam maar regelmatig stijgen, ook in de linker buis van de hevel H. Komt het niveau boven de bocht B van de hevel, dan zal deze gaan werken. Het water loopt in een snel tempo weg en wel tot de aansluiting van de hevel op het vat vrijkomt. De hevel vult zich nu met lucht en werkt dan niet meer. Het niveau is dus na een langzame stijging snel gedaald en zal nu weer langzaam gaan stijgen, enz. Met een drijver D en een schrijfpen S kan van deze beweging op een papierstrook een grafische voorstelling gemaakt worden; een uurwerk zorgt daarbij voor de tijdbasis.
De hiermede overeenkomende elektronische schakeling (fig. 16) werkt als volgt. Door een grote weerstand R („lekweerstand") lekt een kleine stroom, geleverd door een stroombron van bv. 200 V. De doorgestroomde elektrische lading verzamelt zich in de condensator C, d.i. een elektrisch reservoir. De lading daarin wordt langzaam maar regelmatig groter en dus ook het spanningsverschil tussen de platen. Als hevel werkt hier het neonlampje N, een met neongas gevuld buisje met twee elektroden. Zo'n lampje heeft de eigenschap eerst te

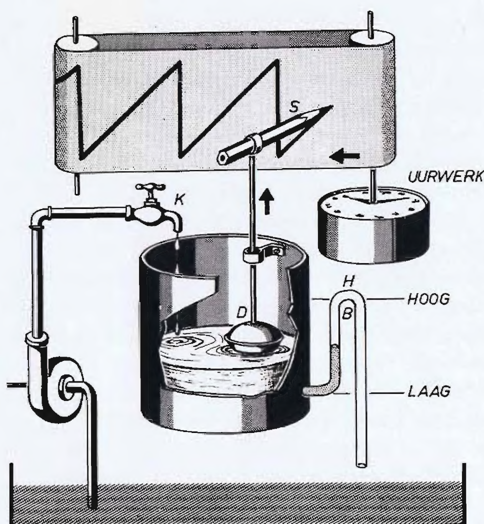


Fig. 15. Een hydraulische zaagtandgenerator

gaan branden en dus stroom door te laten, als de spanning ca 100 V is. Het gaat echter pas uit als de spanning tot ca 60 V gedaald is; stroom kan er dan niet meer door gaan.
Zodra dus de spanning over de condensator tot 100 V gestegen is, loopt de lading daarvan snel door het buisje weg tot de spanning 60 V geworden is. Het spelletje begint dan opnieuw (fig. 17). Zou men een schrijvende voltmeter op de condensator aansluiten, dan zou duidelijk blijken, dat de spanning geleidelijk en regelmatig van 60 V tot 100 V toeneemt om vervolgens snel van 100 V tot 60 V te dalen, enz. M.a.w. deze schakeling is een zaagtandspanningsgenerator.
Hiervan uitgaande kan de zaagtandspanning, benodigd voor de horizontale afbuiging van de oscilloscoop, gemakkelijk

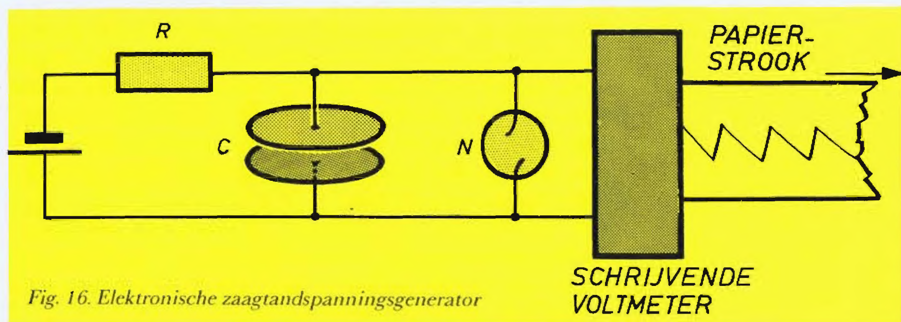


Fig. 16. Elektronische zaagtandspanningsgenerator

met een transformator worden verkregen. Het lichtpunt op het scherm kan men dus langzaam van links naar rechts en daarna zeer snel weer terug laten bewegen. Het tempo waarmede dit zich herhaalt, heeft men in de hand door de grootte òf van de weerstand, òf van de condensator te regelen. In het hydraulische model komt dit overeen met veranderingen van de stand van de kraan resp. van de wijdte van het vat.
Tijdens de terugslag van de lichtstip wordt automatisch een negatieve spanning aan de wehneltcilinder toegevoerd, zodat de elektronenstraal gedurende deze tijd onderdrukt wordt. De oscilloscoop is nu gereed voor het gebruik: onderzoek van een elektrische trilling. Deze wordt daartoe aangesloten op de ingang van de verticale versterker. Elke afwijking van de verwachte vorm is direct vast te stellen. Dit is dan ook de reden dat de elektronenstraaloscilloscoop een onmisbaar instrument geworden is in laboratoria, fabrieken, reparatiewerkplaatsen en niet te vergeten bij het onderwijs in de natuurkunde, elektriciteitsleer en in de elektronentechniek.

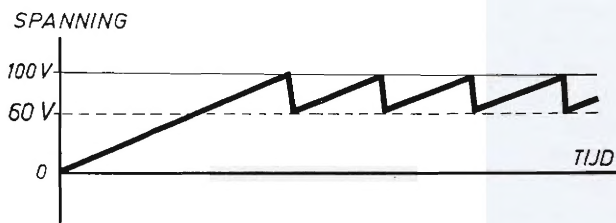


Fig. 17

Zeker moet nog worden vermeld, dat de te onderzoeken verschijnselen niet uitsluitend elektrische behoeven te zijn. Er zijn tal van materialen en instrumenten die een bepaald verschijnsel in een elektrisch signaal om kunnen zetten. Zo zijn er „opnemers" voor geluid (microfoon), kracht, druk, temperatuur, licht (fotocel), verplaatsing, snelheid, versnelling, enz. Hierop zal later worden ingegaan. Het gebied dat hierdoor toegankelijk is voor het onderzoek met de oscilloscoop is zeer groot, te meer daar zelfs heel snelle veranderingen gemakkelijk gevolgd kunnen worden.
Voor verschillende toepassingen zijn speciale elektronenstraalbuizen ontwikkeld. Voorbeelden hiervan zijn de beeldbuizen voor televisie en radar. Ook aan beide onderwerpen zal later nog aandacht besteed worden.

Woorden en begrippen



PHILIPS NEDERLAND N.V. – EINDHOVEN
AFD. ONDERWIJSVOORLICHTING